

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний
(повна назва факультету)

Приладобудування
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М.Д.Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _ ” _____ 20_ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051003 Приладобудування

на тему: Дозатор сипких високотемпературних матеріалів _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 4____ курсу, групи ПІ-51_____
(шифр групи)

Головченко Владислав Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівникдоцент, к.т.н., Згуровська Л.П. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант технологічний професор, д.т.н., Антонюк В.С. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Шевченко В.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ			
Змі	Ли	№ докумен.	Під	Дата				
Розроб	Головченко В.С.							
Переві								
Керівн								
Н.								
Затв.	Згуровська Л.П.							
					Літера			Лист
								Листів
								1
								44
					Пояснювальна записка			
					ПІ-51, 4 курс			

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ*

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПІ5106. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	45	
3	A1	ДППІ5106. 01.000 СК	Датчик тензометричний Складальне креслення	1	
4	A1	ДП ПІ5106. 02.000 СК	Прийомування для навантаження датчиків	1	
5	A1	ДП ПІ5106. 03.000 СК	Дозатор	1	

				ДП ХХХХ 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Головченко В.С,			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Згуровська Л.П.				1	1
Консульт.					КПІ імені Ігоря Сікорського Каф. _____ Гр. _____	
Н/контр.						
Зав.каф.						

*Відомість виконується згідно зі Стандартом відповідної галузі економіки

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		2

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Приладобудівний
(повна назва)

Кафедра Приладобудування
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051003 Приладобудування
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Головченко Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Дозатор сипких високотемпературних матеріалів

керівник проекту доц., к.т.н. Згуровська Л.П.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. №1384-с

2. Термін подання студентом проекту 13.06.2019

3. Вихідні дані до проекту Найбільша границя зважування 200 кг;

Питома потужність споживання 30 ВА;

Термін розігріву пристрою не більше 30 хв

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ..

1.Конструкторська частина. 2.Технологічна частина. Висновок.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1.Датчик тензометричний.-1арк.А1

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ

Лист

3

2. Пристосування для навантаження датчик.-1 арк. А1 3. Дозатор-1 арк. А1

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк В.С., д.т.н., професор		

7. Дата видачі завдання 15 травня 2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Огляд дозатора	15 травня 2019 р.	
2.	Проведення розрахунків дозатора	2 червня 2019 р.	
3.	Розробка графічних креслеників	5 червня 2019 р.	
4.	Оформлення пояснювальної записки	7 червня 2019 р.	
5.	Представлення ДПБ на кафедрі	12 червня 2019 р.	
6.	Передача електронної версії ДПБ	14 червня 2019 р.	
7.	Представлення ДПБ до екзаменаційної комісії	18 червня 2019 р.	

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Керівник проекту

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

*Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

Анотація

Тема дипломного проекту «Дозатор сипких високотемпературних матеріалів».

Дипломний проект бакалавра складається із пояснювальної записки та трьох креслень на А1.

Метою дипломного проекту стало проектування дозатору сипких високотемпературних матеріалів з використанням високотемпературних тензодатчиків. Робота складається з двох розділів – проектно-конструкторського та технологічного. У першому розділі пояснювальної записки приведений аналіз існуючих типів та систем зважування та обґрунтовано необхідність та актуальність проектування даного пристосування. У другому розділі були проведені розрахунки на технологічність з метою оцінки швидкості та простоти складання даного пристрою. Також було розроблено структурну схему складання виробу.

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						5
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Annotation

Theme of the diploma project "Batching of high-temperature high-temperature materials".

The bachelor diploma project consists of an explanatory note and three drawings on A1.

The purpose of the diploma project was designing a dispenser of friable high-temperature materials using high-temperature strain gauges. The work consists of two sections - design and technological. In the first section of the explanatory note, an analysis of existing types and systems of weighing is given and the necessity and relevance of the design of this adaptation is substantiated. In the second section, calculations were made on the technology to evaluate the speed and simplicity of the assembly of this device. A structural scheme for product assembly was also developed.

					ДП ПИ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						6
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

<i>ВСТУП</i>	8
<i>1 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ</i>	9
1.1 ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ НА ОСНОВІ КРИТИЧНОГО ОГЛЯДУ АНАЛОГІВ	9
1.2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	14
1.3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ВАГОВОГО ПРИСТРОЮ	15
1.4 РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ВАГОВОГО ПРИСТРОЮ.....	18
1.5 РОЗРАХУНОК ТЕНЗОДАТЧИКІВ.....	20
1.5.1 Вибір тензорезисторів	21
1.5.2 Розрахунок пружного елементу.....	22
1.5.3 Розрахунок статичної характеристики пружного елементу	31
1.5.4 Розрахунок динамічної характеристики пружного елементу.....	34
<i>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ</i>	36
2.1 ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ЗБІРНОЇ ОДИНИЦІ	38
2.2 РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ЗБОРКИ	41
2.3 СХЕМА ЗБІРНОГО СКЛАДУ	46

ВСТУП

Проектування нової техніки та технологій, автоматизація виробництва та керування будь-яким об'єктом тісно пов'язано з вдосконаленням вимірювальної техніки, підвищенням її точності та надійності. Виробництво сучасних методів виміру, використання автоматизованих методів приймання проектних та конструкторських рішень визначають оцінку та обумовлення вимог до точності забезпечуваних метрологічних характеристик.

Специфічність сучасного точного приладобудування заключається в підвищенні вимог до точності метрологічних характеристик та великій різноманітності конструктивних форм та принципів будування функціональних перетворювачів.

Для сучасної вимірювальної техніки характерно ускладнення умов експлуатації та підвищення швидкостей зміни контролюючих величин. Змінний зовнішній вплив в процесі виміру контрольованої фізичної величини та багатьох неінформативних параметрів – у більшості випадків визначаються фактори похибок виміру фізичних величин.

На основі вищевказаного і було розроблено ваговий пристрій в даному дипломному проекті, який відноситься до ваговимірювальної техніки та може бути використаний для зважування сипучих високотемпературних матеріалів.

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

1 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

1.1 Обґрунтування необхідності проектування на основі критичного огляду аналогів

Автоматизація багатьох технологічних процесів на машинах по перевезенню сипучих матеріалів пов'язана з автоматизацією процесу зважування та дозування продукту. Найбільші складності при роботі зважуючих пристроїв визиває нерівність поверхонь, що значно збільшує похибку зважування.

Великі похибки призводять до реальних економічних затрат, оскільки у відповідності з існуючим положенням, кількість продукту при його фасуванні в тару завищена у порівнянні з потрібною дозою.

Через закордонні та вітчизняні джерела відомо, що ці затрати складають 5÷6%. В наш час, у зв'язку з підвищенням вимог до точності машинних ваговимірювальних пристроїв у різних країнах розробляють пристрої для зважування маси в нестабільних умовах.

Поява та розвиток мікропроцесорних пристроїв та використання їх в засобах виміру маси зробили можливим покращення метрологічних якостей зважування пристроїв, підвищили їх надійність.

Проведемо огляд та аналіз аналогів проектуемого вагового пристрою, які було розроблено в нашій країні та закордоном.

Розглянемо аналоги в Ісландії. Типовим зважуючим пристроєм з мікропроцесорним управлінням є модель CV5002A фірми «Marel». Пристрій випускається з НГЗ-12, 40 кг та вирішуючою здатністю 5,20 г; мають великий об'єм постійної (32К) та оперативної (8К) пам'яті, який дозволить зробити роботу пристрою в режимах зважування, пакування та сортування.

Пристрій включає встановлений на загальній основі основний та додатковий самовимірюючий датчики паралельної конструкції, виходи яких підключені до вимірюючого приладу, причому додатковий самовимірюючий датчик навантажений грузом відомої маси, а основний самовимірюючий

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						9
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

датчик безпосередньо навантажений грузоприймаючою платформою з вимірюючим грузом. При роботі таких ваг в динамічних умовах (при дії дестабілізуючих факторів) тангенціальні прискорення вимірюючого навантаження та грузоприйомної платформи безпосередньо впливають на основний силовимірюючий датчик, причому цей вплив виростає зі збільшенням відстані між датчиком та центром мас системи «грузоприймальна платформа – вимірюючий груз». Тому при значимих рівнях усіх впливів (наприклад, при встановленні на грузоприймаючу платформу накопичувального бункера для дозування) з метою попередження пошкодження основного силовимірювального датчика збільшують його вимоги, тобто беруть ваги з більш чіткою границею зважування, що приводить до зниження рівня корисного сигналу, знижується точність зважування.

Французькою ж фірмою «LaTelemeaniguEletrique» представлено ваговимірюючий пристрій з цифровою індикацією для зважування грузів в нестабільних умовах, які оснащені датчиками для виміру еталонної та вимірювальної маси.

Вихідні сигнали датчиків через підсилювачі подаються на входи ЕВМ. Для компенсації впливу умов нестабільності, головним чином вертикального прискорення на показання ваг, використовується ЕВМ, яка містить АЦП, маючи еталонний вхід та вихід сигналу, а також цифрові виходи, приєднані до системи обробки.

Грузоприймаюча чаша з масою M , яка зважується, фіксується на датчиках 1 та 2, а чаша з еталонною масою m , фіксується на датчиках 3 та 4. Сигнали з основних датчиків 1 та 2, через підсилювач 5 поступають на АЦП 7, а сигнали з додаткових датчиків 3 та 4 через підсилювач 6 також поступають на АЦП. Далі сигнали з аналого-цифрового перетворювача поступають на його обробки інформації 8. В блоці 8 проходить обробка сигналів з АЦП та видача їх на блок індикації.

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						10
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Також заслуговує уваги пристрій для зважування грузів в особливих умовах (пат. Франція №2586106), який містить грузоперетворювальну платформу, яка опирається на два основні силовимірювальні датчики паралелограмного типу, встановлених на загальній основі паралельно один одному. Під грузоприймальною платформою розміщені додаткова платформа, аналогічна за розмірами, та опирається на два додаткових ваговимірювальні датчика, встановлені на загальній основі паралельно один одному та основним силовимірювальним датчиком. Виходи датчиків підключаються до входу вимірювального пристрою, який формує результати зважування як відношення сигналів від основних до додаткових ваговимірюючих датчиків.

В такому пристрої дія тангенціальних динамічних прискорень в площині, перпендикулярних паралелограму основних силовимірюючих датчиків, значно послаблено за рахунок встановлення вагоприймаючої платформи на два силовимірюючі датчики, віднесених вітром один від одного на максимально можливу відстань. Однак, в площині, паралельній паралелограму основних силовимірюючих датчиків, послаблена дія тангенціальних динамічних прискорень не відбувається, так як точки кріплення цих датчиків до основи знаходяться в одній площині, перпендикулярній паралелограму датчиків.

Щодо аналогів в Японії, японською фірмою «ShimadzuCorporation» розроблені електронні ваги з компенсацією похибок (пат. Японія №4482022). (рис. 2.2)

Ваги мають вантажоприймаючу платформу чашу 1, опираються на вертикальний силопередаючий стержень 2, встановлений в системі одно направленого пружного підвісу 3, який утворюється двома плоскими горизонтально розміщеними пружинами 4. Нижня частина силопередаючого стержня опирається на перетворювач зусиль 5, закріплений на нерухомій основі 6. При позацентровому навантаженні, діюче паралельно вертикальній осі Z, виникає огинаючий момент, прикладений до силопередаючого стержня та здійснюючий показання перетворювача сили.

Верхня частина силопередаючого стержня виконується у вигляді пружного елемента з квадратним поперечним розрізом, на бокових сторонах якого кріпиться тензорезистори, забезпечуючи вимір гальмуючих сил f_x та f_y , які виробляють огинаючий момент на діючих паралельно горизонтальній осі X та Y. По значенню основної W, вимірюючим перетворювачем сили та значенням f_x та f_y за допомогою електронного розрахунку, розраховується зміщення точки прикладання основного навантаження відносно центру, поправка для показників перетворюючої ваги сили з урахуванням цього зміщення та визначається реальне значення навантаження.

Ведучою організацією в Україні, яка проектує та випускає тензометричні зважувальні пристрої з використанням для погашення динамічних 2-го тензоканала, являється київське ПО «Веда». Тут розроблено ваговий тензометричний пристрій, який має цифрову індексацію та цифровий вивід інформації, автоматичну компенсацію тари та «0». Відмінна якість пристрою – наявність демпфуючої підвіски, яка з'єднує грузопідйомну платформу з основою ваг. Похибка зважування складає не більше 1%.

Пристрій складається з наступних основних вузлів:

- 1) Нерухомої основи, яка призначена для вантажу частини сприймаючого пристрою, та кріплення його до робочого столу;
- 2) Вантажоприймаючої платформи, призначеної для передачі механічної сили від встановленого на ній вантажу на тензодатчик вимірюючої маси;
- 3) Спеціального вантажу та тензодатчик відомої маси.

Датчики відомої та вимірюваної маси, призначені для перетворення сили від відомого та вимірюваного грузу в електричний сигнал, розміщений в одному корпусі, встановлені в верхній та нижній основі на кінцях пари горизонтальних взаємоперпендикулярних пружних пластин, відповідно протилежні кінці яких жорстко пов'язані стійкою та опираються на чотири

вертикальні пружні пластини, протилежні кінці яких закріплені на нерухомій основі.

Цифровий перетворювач виконаний в геометричному корпусі вмонтованим в його шасі. В основі принципу дії лежить спосіб зважування грузів в динамічних умовах, де використовуються канали опорного та вимірювального тензодатчиків, з яких опорний навантажений спеціальним грузом. Вихідна напруга опорного тензодатчика, пропорційна вазі спеціального груза, та підсилена диференціальним підсилювачем, порівнюється з опорною напругою в стабілізаторі. Вихідна напруга стабілізатора інвертується інвертатором. Таким чином питома напруга опорного та вимірюючого тензодатчиків представляє собою двополярну напругу з середньою точкою. При чому величина цієї напруги залежить від ваги спеціального груза та вимірюється у протифазі до нього. Так як дія динамічної похибки на опорний та вимірювальний тензодатчик адекватна, то вихідна напруга залежить лише від величини груза, який знаходиться на вимірювальному тензодатчику. Вимір вихідного сигналу напруги вимірювального тензодатчика та перетворення його в цифрову форму проводить вимірювальний пристрій, який працює за методом подвійного інтегрування.

При аналізі даних, які приведені вище, можемо зробити наступний висновок - розроблений ваговий пристрій відповідає рівню аналогічної закордонної техніки.

Однак багато з представлених вагових пристроїв мають більш габаритні розміри, велику вагу, дуже складну конструкцію та не забезпечують необхідну точність. Метою проектування вагового пристрою є спрощена конструкція та підвищення точності зважування.

1.2 Розробка технічного завдання

- Найбільша границя зважування (НГЗ) – 200 кг
- Час встановлення показників – не більше 1.0 с
- Вимір показників вагового пристрою, обумовлений впливом дестабілізуючих факторів, має складати не більше 0.1% від НГЗ.
- Електричне живлення повинно здійснюватися однофазною змінною напругою 220 В частотою 50 Гц.
- Питома потужність пристрою має складати не більше 30 ВА.
- Термі розігріву пристрою має бути не більше 30 хв.
- Похибка пристрою при нерівному розподіленні на вагоприймаючій платформі масою 30% від НГЗ не повинна перевищувати границі допустимої похибки.
- Габаритні розміри вагоприймаючого пристрою має складати не більше 420x400x125 мм³, маса повинна бути не більше 250 кг.
- Габаритні розміри реєструючого пристрою мають бути не більше 320x240x140 мм³, маса повинна бути не більше 10 кг.
- Довжина кабелю від сприймаючого до реєструючого пристрою має бути не менше 4 м, а мережевого кабелю – не менше 5 м.
- Пофарбовані покриття внутрішніх поверхонь реєструючого пристрою, а також зовнішні та внутрішні поверхні сприймаючого пристрою мають бути не менше V класу, а зовнішні поверхні реєструючого пристрою – не менше III класу по ГОСТ 9.032-74.
- Конструкція вагового пристрою має враховувати зручність доступу до органів управління.

- Номінальні значення кліматичних факторів по ГОСТ 15150-69. При цьому значення температури оточуючого повітря встановлюють рівнем від +70°C до +200°C.
- Пристрій має бути стійким до впливу відносної вологості повітря від 77% до 83% при температурі 70°C, а також 92%-98% при температурі 200°C.
- Ваговий пристрій має бути стійким до впливу дестабілізуючих факторів.
- Час безвідмовної роботи – 6500 годин.
- Середній час працездатності пристрою – 3 години.
- Середній термін служби – 5 років. Критичним є стан приладу, за якого заміні підлягає 60% комплектуючих.

1.3 Розробка принципової схеми вагового пристрою

На рис. 4.1 зображена принципова схема сприймаючого пристрою, а на рис. 4.2 зображено функціональну схему вагового пристрою.

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						15
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

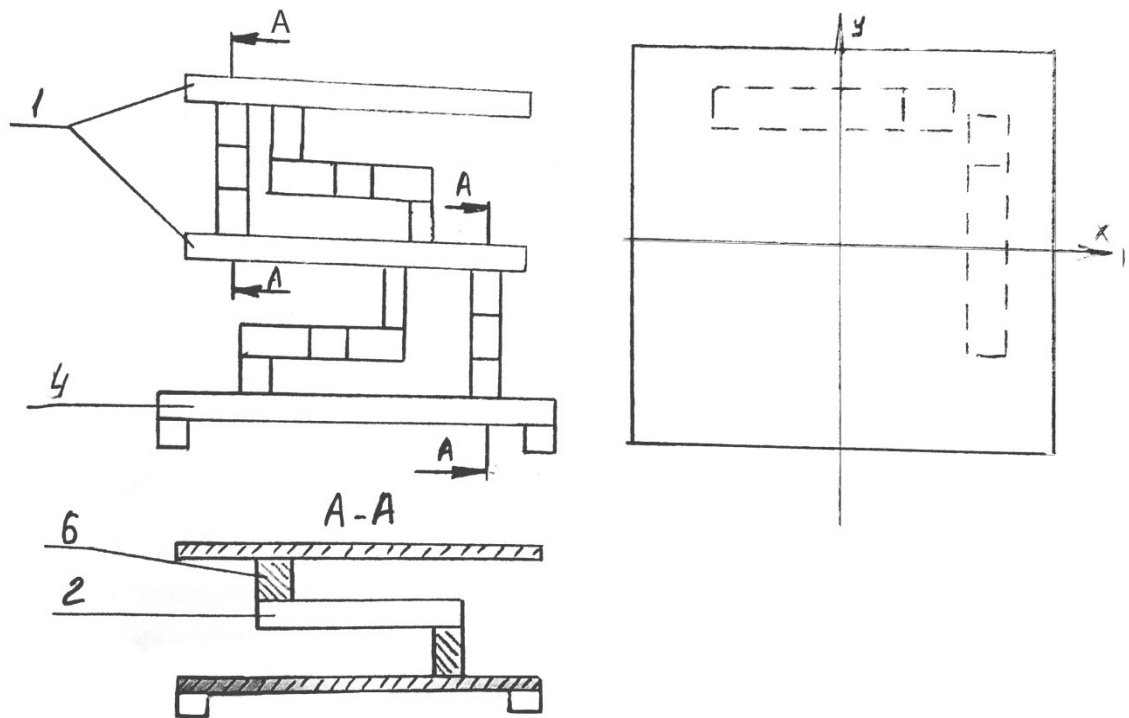


Рис. 4.1 Принципова схема вагового пристрою

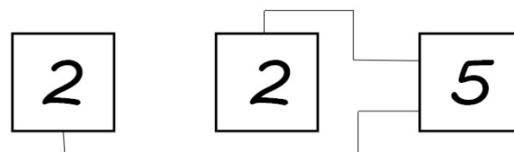


Рис. 4.2 Функціональна схема вагового пристрою

Пристрій складається з вантажоприймаючої платформи 1, датчиків 2, які встановлені на загальній основі 4, вимірювального пристрою 5, вантажу 6. Вантажоприймаюча платформа 1 опирається на два основні силовимірюючі датчики, встановлені паралельно один до одного та закріплені назустріч один одному в максимально віддалених один від одного периферійних вантажоприймаючої платформи 1. Силовимірювальний датчик представляє собою компенсатор прискорень. Виходи датчиків 2 підключені до одного входу вимірювального пристрою 5. Встановлення двох датчиків зустрічно-перпендикулярно один одному дозволяє значно зменшити вплив тангенціальних прискорень, так як вплив складової по осі X значно зменшується завдяки розміщенню точок кріплення основних сило

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ

Лист

16

вимірювальних датчиків по осі Х. Вплив складових прискорень по осі Y компенсується в сумарному вихідному сигналі основних ваговимірювальних датчиків, так як виникаючі при цьому моменти в датчиках в протилежних один від одного напрямках. Таким чином, проходить зниження вимог до ідентичності умов на вимірюваному вантажі та грузі компенсатору прискорення, що дає можливість значно спростити пристрій, виконав компенсатор на одному силовимірювальному датчику. При цьому також підвищується точність пристрою при його роботі в динамічних умовах.

Пристрій працює наступним чином: зусилля вимірюваного вантажу через вантажоприймаючу платформу 1 передається на основні силовимірювальні датчики 2, де перетворюються в сумарний вихідний сигнал, поступаючий на один з виходів вимірювального пристрою 5. Два інші датчики, які розміщені на другій платформі, де вихідні сигнали поступають на інший вихід вимірюваного пристрою 5. Останній формулює результат зважування N, як відношення вхідних сигналів масштабуванням, тобто:

$$N = M \cdot \frac{k_0 \cdot (m_z + m_n) \cdot (1 + a_{n0})}{k_g \cdot m_g \cdot g \cdot (1 + a_{ng})} \quad (4.1)$$

Де m_z, m_n, m_g – маси вимірюваного вантажу, вантажоприймаючої пластини 1, та вантажу відповідно;

k_0, k_g – коефіцієнти передачі датчиків 2;

a_{n0}, a_{ng} – приведені до прискорення g значення динамічних впливів, діючих на датчики 2-2;

M – масштабний коефіцієнт.

Так як динамічні умови впливаючі на датчики ідентичні, то $a_{n0} \approx a_{ng}$.

Якщо значення масштабного коефіцієнту прийняти рівним $M = \frac{k_g \cdot m_g}{k_0}$, а також врахувати вагу платформи 1, то результатом перетворень буде маса вимірюваного вантажу m_z .

Таким чином, результат зважування не залежить від динамічних впливів, які виникають в результаті коливань. При цьому вплив на основні датчики 2 тангенціальних прискорень значно ослаблено, що приводить до

підвищення точності пристрою і дозволяє значно спростити його в порівнянні з аналогами.

1.4 Розробка мікропроцесорної системи вагового пристрою

В даному ваговому пристрої для перетворення вихідного сигналу в цифрову форму, виміру та видачу результату на цифровий індикатор та вихід для передачі на цифровий друкувальний пристрій та ЕВМ, а також виробка дискретнихправлячих сигналів для дискретного друкування матеріалів використовується другорядний пристрій.

Другорядний пристрій складається з основних частин:

- 1) Аналого-цифрового перетворювача (АЦП);
- 2) Мікропроцесорна система (МПС);
- 3) Блок індикації (БІ).

Другорядний пристрій в даному ваговому пристрої дозволяє реалізувати наступні функції:

- 1) Позбавлення нелінійності первинного вимірювального перетворювача;
- 2) Підрахунок сумарної ваги;
- 3) Контроль режиму роботи перетворювача;
- 4) Позбавлення від вібрацій, компенсація динамічних впливів.

Другорядний пристрій може працювати з тензодатчиками, маючи наступні параметри :

- 1) Вхідний електричний опір – 100 Ом;
- 2) Вихідний електричний опір – 1000 Ом;
- 3) Робочий коефіцієнт передачі – $(1/2.5) \frac{мВ}{В}$;
- 4) Номінальна напруга живлення – 12 В; 24 В;

Другорядний пристрій може працювати в таких режимах:

- 1) Основний режим - включається автоматично при подачі живлення на пристрій; в цьому режимі проводиться непереривний вимір вхідного сигналу, відрахування з нього цифрової форми початкового (нульового) значення розбалансу ТД, значення тари з послідуємим масштабуванням результату; при початковому встановленні проводиться зчитування константи з перемикачів SA1...SA4 контролера та запам'ятовування їх в ОЗУ.
- 2) Сброс – проводиться при натисканні кнопки сброс, при цьому встановлюється нульове значення початкового розбалансу та тари, а також зчитування констант; перехід в основний режим проводиться автоматично.
- 3) Обнулити – проводиться при натисканні кнопок F, O, ВВОД; на цифровому індикаторі встановлюються нульові показники, операція проводиться при початковому розбалансуванні ТД менше 200 одиниць; в іншому випадку на індикаторі відбивається надпис «РАЗГР»; повертається в основний режим в першому випадку автоматично, в іншому – при натисканні кнопки F.
- 4) Тарування – проводиться при натисканні кнопки F, 1, ВВОД; при цьому значення тарного навантаження запам'ятовується в ОЗУ, а на цифровому індикаторі встановлюється нульове значення; повернення в основний режим автоматичне;
- 5) Виклик тари – проводиться при натисканні кнопок F, 2, ВВОД; при цьому значення тарного навантаження з ОЗУ виводиться на індикатор; повернення в основний режим при натисканні кнопки F;
- 6) Масштабування – проводиться при натисканні кнопки F, 3, ВВОД; перед цим пристрій повинен бути обнулений та ТД навантажені вагою, рівною вибраній шкалі; на цифровому індикаторі виводиться значення

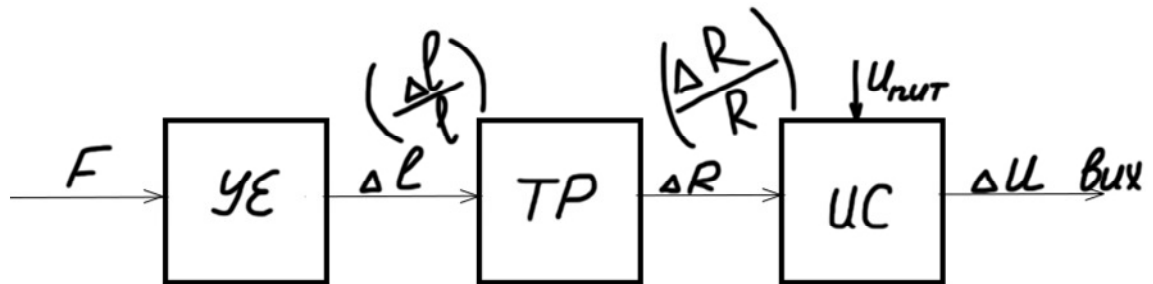
масштабного коефіцієнту в шістнадцятковому коді; повторне натискання кнопки ВВОД заносить нове значення масштабного коефіцієнту в ОЗУ та відбувається автоматичний перехід в основний режим;

- 7) Завдання констант – проводиться при натисканні кнопок F, 4(5,6,7,8); для завдання нового значення константи натискається кнопка ВВОД та за допомогою клавіатури вводяться нові значення. Повторне натискання на кнопку ВВОД заносить в ОЗУ нові значення константи та проводиться автоматичний перехід в основний режим.
- 8) Введення даних – проводиться при натисканні кнопки * ;
- 9) Реєстрація – проводиться при натисканні кнопки ВВОД; підтвердження проведення операції – індикація на цифровому індикаторі РЕГ; при цьому значення маси сумарного виходу збільшується на величину індикованої маси, а кількість зважування збільшується на одиницю;
- 10) Сумарний вихід – проводиться при натисканні кнопок F, 9; при першому натисканні кнопки ВВОД на цифровому індикаторі з ОЗУ виводиться інформація про сумарну вагу реєстрованих зважувань;
- 11) Тестування проводиться при натисканні кнопок F, ТЕСТ; при цьому на цифровому індикаторі висвічуються напис ПРОВ; при натисканні кнопки ВВОД на цифровому індикаторі повинні з'явитися всі сегменти і світло відводи; повторне натискання приводить прилад в режим вимірювання вхідного сигналу з одиничним масштабним коефіцієнтом; перехід в основний режим через кнопку СБРОС, а для збереження значень початкового розбалансу та тари необхідно вимкнути і повторно увімкнути напругу пристрою.

1.5 Розрахунок тензодатчиків

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						20
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Функціональна схема тензорезисторного датчика сили прямого перетворення представляє собою послідовне з'єднання трьох вимірювальних перетворювачів: пружного елемента (УЕ), тензорезистора (ТР) та вимірювальної схеми (ИС). Функціональна схема представлена на рис.



4.9:

Рис. 4.9 Функціональна
схема тензорезисторного
датчика

Тензорезисторний датчик сили використовується для виміру статичних та повільнозмінюючих сил. Пружний елемент датчика представляє собою балку подвійного згину, пружний шарнір, який утворює паралелограм. При положенні навантаження балка прогинається, викликає деформацію фольгових клейових тензорезисторів, які наклеєні на пружні шарніри. Два тензорезистора сприймають сили розтягнення, а два інші – сили стискання. Тензорезистори з'єднані в мостову схему, напруга на виході якої при незмінній напрузі живлення пропорційно вимірюваному значенню сили. Ознаками статичного режиму виміру є постійна вимірювана величина, даному випадку – це вага вантажу $F = \text{const}$ та постійне значення вихідного сигналу - напруга. Вихідний сигнал отримують в результаті деформації пружного елемента вимірюючого датчика та перетворення цієї деформації за допомогою тензорезисторів у вихідну напругу.

1.5.1 Вибір тензорезисторів

Для розробляючих датчиків сили вибираємо фольгові тензорезистори КФ5 П11-10-200-В12. Далі тензорезистори вибираємо виходячи з умов роботи та конфігурації пружного елемента.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ

Лист

21

Тензорезистор КФ5 П11-10-200-В12 має наступні характеристики:

- 1) Номінальний опір: $R=200\text{ Ом}$;
- 2) Довжина підложки $l=18.5\text{ мм}$;
- 3) Ширина підложки $b=7.4\text{ мм}$;
- 4) Ширина чутливого елементу $C=2.85\text{ мм}$;
- 5) База $A=10\text{ мм}$;
- 6) Коефіцієнт тензочутливості $S=2.6\pm 0.2$;
- 7) Допустима відносна деформація $\epsilon_d = 1.5 \cdot 10^{-3}$;
- 8) Максимальний ток живлення $I_{max} = 30\text{ мА}$;
- 9) Температурний діапазон роботи $T=(70\div 200)^{\circ}\text{C}$;
- 10) Максимальне відхилення опору від номінального $\Delta R_d = \pm 0.2\%$.

Тензорезистор КФ5 використовується для виміру деформації при статичних та динамічних навантаженнях, а також для виміру інших механічних величин, одночасно пов'язаних з деформацією. Тензорезистори КФ5 використовуються в якості сило вимірювальних датчиків, які працюють у важких умовах експлуатації (різкі перепади тиску та температури, вібрації, удари, завищена запиленість). В якості підложки тензорезистора КФ5 використовується термостійка бумага, проклеєна клеєм ВС-350.

Тензорезистори доставляють у комплекті з клеєм улакрин 30, або ВС-350. Улакрин 30 – однокомпонентний, швидкосхоплюючий клей. Він склеює метали та пористі матеріали. Температурний інтервал роботи від -60 до $+80^{\circ}\text{C}$. ВС-350 – однокомпонентний клей. Для склеювання металів, а також неметалевих матеріалів. Може працювати при будь-якій температурі (200°C витримує 300 годин).

1.5.2 Розрахунок пружного елементу

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

Проведемо розрахунок деформуючих пружних елементів та визначимо товщину перемички пружних шарнірів основних та додаткових силовимірюючих датчиків.

Товщину перемички пружного шарніру можна визначити по формулі:

$$b = \frac{a - d}{2};$$

Де d – діаметр отвору в пружному елементі, які призначені для створення пружних шарнірів;

a – сторона квадрату поперечного розтину пружного елемента.

$a = 20$ мм

Додатковий тензодатчик необхідно розрахувати на вагу

;

Де – вага еталонного грузу ($m_{\text{э}} = 1$ кг);

;

– перевантаження через додаткове вертикальне прискорення 5 м/

Тоді

$$F_{\text{max}_1} = 10 + 5 = 15 \text{ Н}$$

Основні тензодатчики необхідно розрахувати на вагу:

;

Де – вага вимірюючого грузу ();

– вага піддона та кришки сприймаючого приладу ();

$= 200$ Н;

– перевантаження через додаткове вертикальне прискорення 5 м/ ;

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						23
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

;

Тоді $F_{\max_2} = 200 + 200 + 200 = 600 \text{ Н}$;

На рис 4.10 спрощено зображено пружний елемент у вигляді рами. У спрощеній схемі приймаємо:

$$\begin{cases} E_1 = E_2 = E_3 = E; \\ I_1 = I_2 = I_3 = I; \end{cases}$$

Схема представляє собою замкнутий контур і являється статично невизначеною.

Еквівалентна схема зображена на рисунку

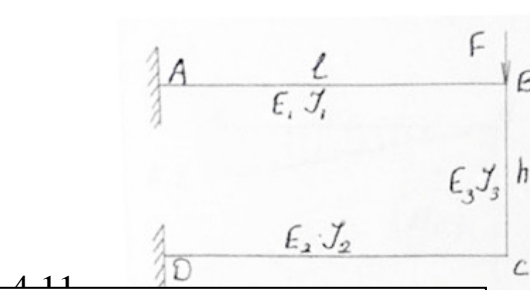


Рис.4.10 Спрощена схема напруження пружного елемента (замкнутий контур)

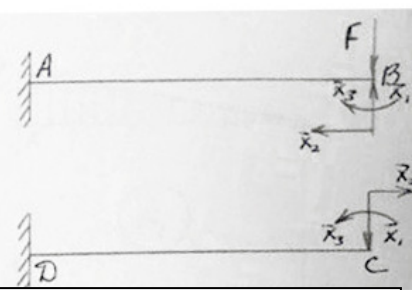


Рис.4.11 Спрощена схема напруження пружного елемента (розімкнений контур)

Для визначення зайвих невідомих зусиль використовуємо рівняння:

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1F} = 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2F} = 0 \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3F} = 0 \end{cases}$$

Де δ та Δ – переміщення під дією відповідних сил.

Для визначення переміщення будемо використовувати спосіб Верещагіна. На рис.4.12 показані епюри згинаючих моментів від одиничних узагальнених сил $\bar{x}_1 = 1$, $\bar{x}_2 = 1$ та $\bar{x}_3 = 1$ (одиничного моменту).

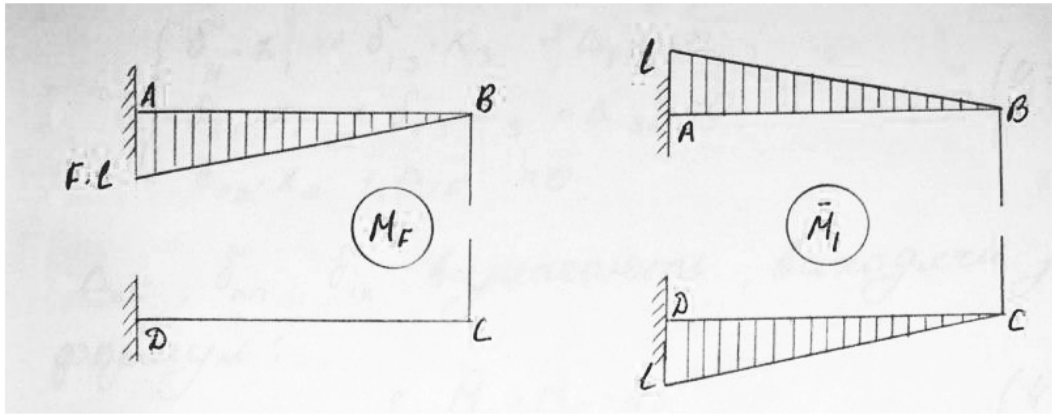


Рис.4.12а. Епюра моментів від використаної напруги

Рис.4.12б. Епюра моментів від одиничної сили \bar{X}_1

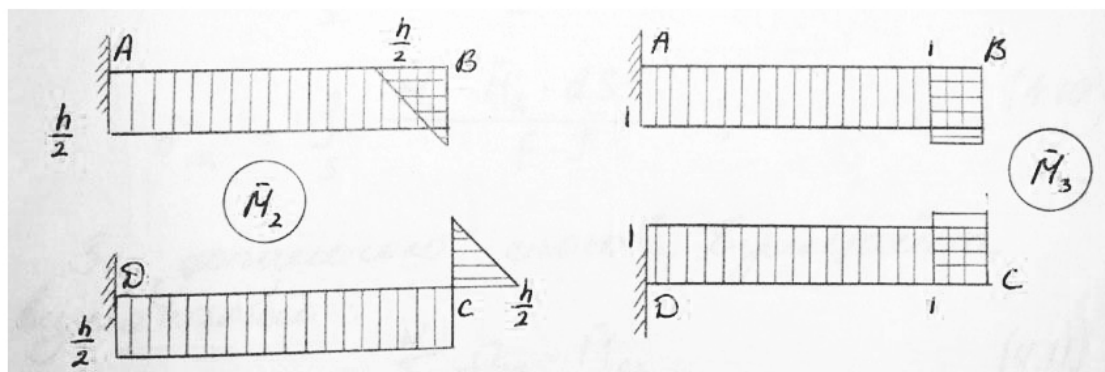


Рис.4.12в. Епюра моментів від одиничної сили \bar{X}_2

Рис.4.12г. Епюра моментів від одиничної сили \bar{X}_3

Відмітимо, що епюри \bar{M}_1 та \bar{M}_2 асиметричні, а епюра \bar{M}_3 – косиметрична. Побічний коефіцієнт, визначається перемноженням симетричної епюри на косиметричну, рівні нулю.

В силу цього $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$; $\delta_{23} = \delta_{32} = 0$;

Канонічне рівняння приймає вигляд:

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1F} = 0; \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3F} = 0; \\ \delta_{22} \cdot X_2 + \Delta_{2F} = 0; \end{cases}$$

Δ_{nF} , δ_{nn} , δ_{ik} визначають,
виходячи з формул:

$$\Delta_{nF} = \int_S \frac{\bar{M}_n \cdot M_F \cdot dS}{E \cdot J};$$

$$\delta_{nn} = \int_S \frac{\bar{M}_n \cdot \bar{M}_n \cdot dS}{E \cdot J};$$

$$\delta_{ik} = \int_S \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_k \cdot dS}{E \cdot J};$$

За допомогою способу Верещагіна визначаємо:

$$\Delta_{iF} = \sum_{k=1}^N \frac{\Omega_k \cdot \bar{M}_{ck}}{E \cdot J}$$

де, Ω_k – площа епюри M_F ;
 \bar{M}_{ck} – ордината епюри від одиничного
навантаження під центром важкостей епюри M_F

$$\delta_{ii} = \sum_{t=1}^N \frac{\Omega_t \cdot \bar{M}_{ct}}{E \cdot J}$$

де, Ω_t – площа епюри від одиничного
навантаження;
 \bar{M}_{ct} – ордината епюри від одиничного
навантаження, яке проходить через центр
важкостей.

Розрахунки по цим формулам проводять по ділянкам, на кожному з яких епюра від одиничного навантаження має бути прямолінійною. У нашому випадку, коли обидві епюри прямолінійні, можна перемножити площу будь-якої з них на ординату другої під центром важкості іншої. А кількість ділянок при множенні буде рівна $N=1$.

Перемножуючи епюри, знаходимо, що

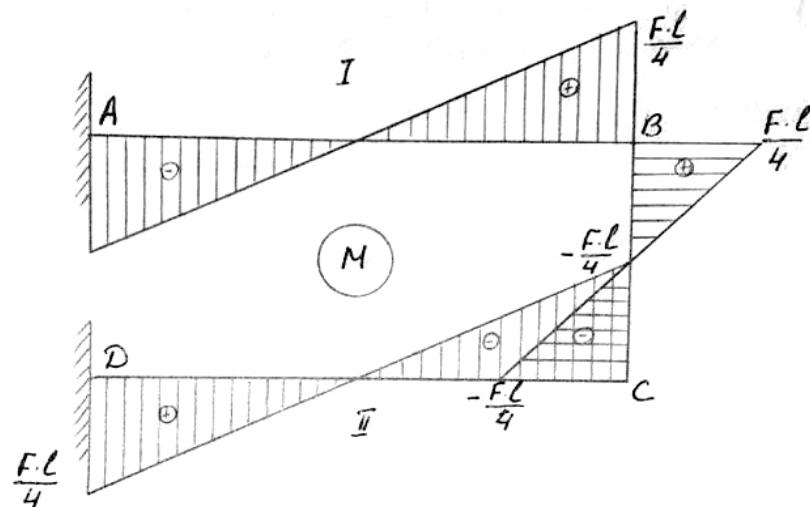
$$\begin{aligned}\Delta_{1F} &= -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{F \cdot l^2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot l = -\frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J}; \\ \Delta_{2F} &= \frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{F \cdot l^2}{2} \cdot \frac{h}{2} = \frac{F \cdot l^2 \cdot h}{4 \cdot E \cdot J}; \\ \Delta_{3F} &= \frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{F \cdot l^2}{2} \cdot 1 = \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J}; \\ \delta_{11} &= \frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{l^2}{2} \cdot \frac{2}{3} l + \frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{l^2}{2} \cdot \frac{2}{3} l = \frac{2 \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J}; \\ \delta_{13} = \delta_{31} &= -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{l^2}{2} \cdot 1 - \frac{1}{E \cdot J} \cdot \frac{l^2}{2} \cdot 1 = -\frac{l^2}{E \cdot J}; \\ \delta_{22} &= \frac{1}{E \cdot J} \cdot l \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{2} + \frac{1}{E \cdot J} \cdot l \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{2} + \frac{1}{E \cdot J} \cdot 2 \cdot \frac{h^2}{8} \cdot \frac{h}{3} = \frac{l \cdot h^2}{2 \cdot E \cdot J} + \frac{h^3}{12 \cdot E \cdot J}; \\ \delta_{33} &= \frac{l}{E \cdot J} + \frac{l}{E \cdot J} + \frac{h}{E \cdot J} = \frac{2l}{E \cdot J} + \frac{h}{E \cdot J};\end{aligned}$$

Підставивши у вираз знайдене значення головних та побічних коефіцієнтів, визначаємо, що:

$$x_3 = 0; \quad x_1 = \frac{F}{2}; \quad x_2 = -\frac{F \cdot l}{2 \cdot h}$$

Знаючи реакцію опор, можна записати рівняння для визначення моментів, діючих на раму.

На рисунку зображена епюра моментів, діючих на балку, при дії навантаження F .



Епюра згинних моментів від прикладного навантаження F

Визначимо значення моментів, які діють в точках A,B,C,D.

$$M_B = \frac{x_2 \cdot h}{2} = \frac{F \cdot l}{4}; \quad M_A = \frac{x_2 \cdot h}{2} - F \cdot l + x_1 \cdot l = -\frac{F \cdot l}{4};$$

$$M_C = -\frac{x_2 \cdot h}{2} = -\frac{F \cdot l}{4}; \quad M_D = -\frac{x_2 \cdot h}{2} + x_1 \cdot l = \frac{F \cdot l}{4};$$

Тобто як ми бачимо:

$$|M_A| = |M_B| = |M_C| = |M_D| = \frac{F \cdot l}{4};$$

Запишемо вираз для знаходження значення згинного моменту в будь-якій точці верхньої та нижньої балок

$$M_I(s) = \frac{x_2 \cdot h}{2} + s(x_1 - F) = \frac{F}{2} \left(\frac{l}{2} - s \right) \quad \text{Для верхньої балки рами}$$

рами:

$$M_{II}(s) = -\frac{x_2 \cdot h}{2} + x_1 \cdot s = \frac{F}{2} \left(s - \frac{l}{2} \right) \quad \text{Для нижньої балки рами}$$

Відносна деформація верхньої та нижньої балок рами в місцях наклейки тензорезисторів повинна складати $\varepsilon = 1.5 \cdot 10^{-3}$.

Пружні елементи датчиків виготовляють з феромагнітного сплаву 44НХТЮ. Відмінність цього сплаву – постійність модуля пружності при нагріванні його до температури 200°C та його стійкість. Відносна деформація балок визначається з виразу:

$$\varepsilon = \frac{G_{\max}}{E}$$

Де G_{\max} – максимальна напруга перетину балки МПа;

E – модуль пружності матеріалу, МПа;

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Максимальна напруга перетину балки визначається за формулою:

$$G_{\max} = \frac{M}{W}$$

Де M – згинний момент Н*мм;

W – момент опору, мм³.

Так як балка має прямокутний поперечний розтин, то

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6}$$

Де a – ширина балки; a = 20 мм;

b – товщина перемички пружного шарніру, мм;

Значення моментів, згинаючих верхню та нижню балки рами в місцях, де тензорезистори будуть рівні:

$$M = \frac{F}{4} \cdot (l - d)$$

Де l – довжина рами, мм;

d – діаметр отвору в пружному елементі, мм.

Для додаткового датчика l=100 мм;

Для основних датчиків l=200 мм.

Визначимо максимальну напругу перетину балок в місцях наклейки тензорезисторів:

$$G_{\max} = \varepsilon \cdot E = 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 = 300 \text{ МПа}$$

З однієї сторони:

$$W = \frac{M}{G_{\max}}$$

А з іншої сторони:

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6}$$

Тоді можна прирівняти ці два вирази:

$$\frac{M}{G_{\max}} = \frac{a \cdot b^2}{6}$$

З цього слідує, що:

$$\frac{F \cdot (L-d)}{4 \cdot G_{\max}} = \frac{a \cdot (a-d)^2}{4 \cdot 6}$$

Проведемо перетворення даного виразу та визначимо діаметр отвору в пружному елементі:

$$\begin{aligned} 6 \cdot F \cdot L - 6 \cdot F \cdot d &= G_{\max} \cdot a \cdot (a^2 - 2 \cdot a \cdot d + d^2); \\ a^3 \cdot G_{\max} - 2 \cdot a^2 \cdot G_{\max} \cdot d + a \cdot G_{\max} \cdot d^2 - 6 \cdot F \cdot L + 6 \cdot F \cdot d &= 0; \\ a \cdot G_{\max} \cdot d^2 - 2 \cdot (a^2 \cdot G_{\max} - 3 \cdot F) \cdot d + (a^3 \cdot G_{\max} - 6 \cdot F \cdot L) &= 0; \\ \frac{D}{4} &= \frac{(a^2 \cdot G_{\max} - 3 \cdot F)^2 - a \cdot G_{\max} (a^3 \cdot G_{\max} - 6 \cdot F \cdot L)}{4} = \\ &= a^4 \cdot G_{\max}^2 - 6 a^2 \cdot G_{\max} \cdot F + 9 \cdot F^2 - a^4 \cdot G_{\max}^2 + \\ &\quad + 6 a \cdot G_{\max} \cdot F \cdot L = \\ &= 6 \cdot a \cdot G_{\max} \cdot F (L - a) + 9 \cdot F^2; \\ \sqrt{\frac{D}{4}} &= \sqrt{6 \cdot a \cdot G_{\max} \cdot F (L - a) + 9 \cdot F^2} \end{aligned}$$

Тоді:

$$d_1 = \frac{(a^2 \cdot G_{\max} - 3 \cdot F) - \sqrt{6 \cdot a \cdot G_{\max} \cdot F(l-a) + 9 \cdot F^2}}{a \cdot G_{\max}},$$

$$d_2 = \frac{(a^2 \cdot G_{\max} - 3 \cdot F) + \sqrt{6 \cdot a \cdot G_{\max} \cdot F(l-a) + 9 \cdot F^2}}{a \cdot G_{\max}},$$

Вираз діаметру отвору в пружному елементі не підходить, оскільки $d_2 > a$.

Підставляємо числове значення та визначимо з виразу діаметр отвору в пружному елементі додаткового датчика:

$$d = \frac{(20^2 \cdot 300 - 3 \cdot 15) - \sqrt{6 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 15(100 - 20) + 9 \cdot 15^2}}{20 \cdot 300} = 18.897$$

Тоді товщина перемички пружного шарніра додаткового датчика з виразу буде рівна:

$$b = \frac{20 - 18.897}{2} = 0.55 \approx 0.6 \text{ мм}$$

Підставимо числове значення та визначимо з виразу діаметр отвору в пружному елементі основного датчика:

$$d = \frac{[(20)^2 - 300 - 3 \cdot 600] - \sqrt{6 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 600(200 - 20) + 9 \cdot 600^2}}{20 \cdot 300} = 9.3 \text{ мм}$$

Тоді товщина перемички пружного шарніра основного датчика з виразу буде рівна:

$$b = \frac{20 - 9.3}{2} = 5.35 \text{ мм}$$

1.5.3 Розрахунок статичної характеристики пружного елементу

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

Статична характеристика – залежність вихідної величини елемента від вхідної в постійному режимі.

Вихідною величиною пружного елемента є навантаження F .

Вихідною величиною пружного елемента є відносна деформація ε в місцях наклеювання тензорезисторів.

Відносна деформація визначається:

$$\varepsilon = \frac{M}{E \cdot W}$$

Де M – згинний момент в місцях наклепки тензорезисторів, Н*мм;

E – модуль пружності матеріалу, МПа;

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

W – момент опору, мм³;

Отримуємо:

$$\varepsilon(F) = \frac{F \cdot (l - d) \cdot 6}{4 \cdot E \cdot a \cdot b^2} = \frac{3(l - d)}{2 \cdot E \cdot a \cdot b^2} \cdot F$$

Де l – довжина рами, мм;

d – діаметр отвору в пружному елементі, мм;

a – ширина балки, мм;

b – товщина перемички пружного шарніра, мм.

Для основних датчиків параметри мають наступні значення:

$l = 200$ мм; $d = 9.3$ мм; $a = 20$ мм; $b = 5.35$ мм;

a навантаження F здійснюється від нуля до 600 Н.

Результат вимірювання представлений на наступній таблиці:

Нагрузка на УЭ: F, Н	Статическая характеристика: sf
0	0.00000
20	0.00005
40	0.00010
60	0.00015
80	0.00020
100	0.00025
120	0.00030
140	0.00035
160	0.00040
180	0.00045
200	0.00050
220	0.00055
240	0.00060
260	0.00065
280	0.00070
300	0.00075
320	0.00080
340	0.00085
360	0.00090
380	0.00095
400	0.00100
420	0.00105
440	0.00110
460	0.00115
480	0.00120
500	0.00125
520	0.00130
540	0.00135
560	0.00140
580	0.00145
600	0.00150

1.5.4 Розрахунок динамічної характеристики пружного елемента

Передаточна функція для пружного елемента має вигляд:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}$$

Поперечне коливання балки без врахування описується таким диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \frac{m_l}{E \cdot I} \cdot \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0$$

Де $y(x,t)$ – поперечне зміщення точки x на осі балки від положення рівноваги;

I – момент інерції поперечного розтину балки відносно його осі, яка проходить через діаметр важкостей перпендикулярного напрямленню згину.

Функція $y(x,t)$ буде представлена у вигляді:

$$y(x,t) = y(x) \cdot \cos(\Omega \cdot t)$$

Де $y(x)$ – форма коливання, яка визначається виразом:

$$y(x) = B_1 \cdot \cosh kx + B_2 \cdot \cos kx + B_3 \cdot \sinh kx + B_4 \cdot \sin kx$$

Де B_1, B_2, B_3, B_4 – постійне інтегрування;

k – коефіцієнт, який дорівнює:

$$k = \sqrt{n_l \cdot \Omega^2 \cdot E^{-1} \cdot I^{-1}}$$

Використаємо початкові умови:

- 1) Для заземленого кінця балки ($x=0$):

$$y(x) = 0; \quad \frac{dy(x)}{dx} = 0$$

- 2) Для вільного кінця балки ($x=l$):

$$\frac{d^2 y(x)}{dx^2} = 0$$

- 3) Рівняння переміщення сумарної маси m_c у відповідності з принципом Даламбера:

$$F(l) \cdot m_c \cdot \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \Big|_{x=L} + 2EI \frac{\partial^3 y(x, t)}{\partial x^3} \Big|_{x=L} = 0$$

Де друга та третя частина виразу лівої частини визначають відповідно силу інерції та силу пружного опору обох балок.

Формула для визначення поперечних коливань балки:

$$y(x) = \frac{2 \cdot F \cdot m_c [T(kl) \cdot V(kx) - S(kl) \cdot V(kx)]}{2 \cdot E \cdot I \cdot k^3 N(kl) - m_c \cdot \Omega^2 \cdot B(kl)}$$

$$\begin{aligned} T(kl) &= \frac{1}{2} (shkl + sinkl); & V(kx) &= \frac{1}{2} (shkx - sinkx); \\ S(kl) &= \frac{1}{2} (chkl + coskl); & B(kl) &= chkl \cdot sinkl - shkl \cdot cgl; \\ U(kx) &= \frac{1}{2} (chkx - coskx); & N(kl) &= 1 + chkl \cdot coskl; \end{aligned}$$

Відносна деформація слоїв балки визначається за формулою:

$$\varepsilon(x) = \pm \frac{b}{2} \cdot \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2}$$

Де b – товщина перемички пружного шарніру. Тоді:

$$\varepsilon(x) = \pm \frac{F \cdot m_c \cdot b \cdot k^2 [T(kl) \cdot S(kx) - S(kl) \cdot T(kx)]}{2 \cdot E \cdot I \cdot k^3 \cdot N(kl) - m_c \cdot \Omega^2 \cdot B(kl)}$$

Де знак «+» - відповідає розтягненню, а знак «-» - стисканню.

Перехідна характеристика елемента – реакція на одиничну ступінчасту дію. Диференціальному рівнянню самої системи відповідає характеристика рівняння виду:

$$\alpha^2 + 2 \cdot \beta \cdot \alpha + 1 = 0$$

Експериментально встановлено, що $\beta = 0.015 < 1$. Тому даний коливальний процес можна записати таким рівнянням:

$$\Omega_0 \cdot t \cdot \sqrt{1 - \beta^2} + \arctg \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{\beta}$$

Де Ω_0 – власна частота коливань; t – час перехідного процесу.

Власна частота коливань пружного елемента може бути визначена за трансцендентного рівняння:

$$2 * E * I * k^3 * N(kl) - m_c * \Omega^2 * B(kl) = 0$$

А приблизне значення власної частоти коливань визначене по методу Релея-Ритца буде рівно:

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{6 * E * I}{\left(m_c + \frac{33}{35} m_\delta\right) * l^3}}$$

Де E – модуль пружності матеріалу, Па;

$$E = 2 * 10^{11} \text{ Па}$$

l – довжина рами пружного елемента, мм;

I – момент інерції пружного елемента;

m_c – сумарна маса недеформованої частини пружного елемента, кг;

m_δ – маса однієї балки пружного елемента, кг.

Момент інерції пружного елемента можна визначити з виразу:

$$I = \frac{a}{12} * (a^3 - d^3)$$

Де a – сторона квадрата поперечного перетину пружного елемента, м;

d – діаметр отвору в пружному елементі, мм.

Коливальний перехідний процес характеризується тим, що представляє собою вільні коливання з частотою та амплітудою, затухаючої по експоненті, де затухалися амплітуд коливань з урахуванням часу визначаються значенням системні заспокоєння.

Для датчиків параметри мають наступні значення:

$$\beta = 0.15; \quad m_c = 0.16 \text{ кг}; \quad m_\delta = 0.17 \text{ кг};$$

$$l = 0.2 \text{ м}; \quad a = 0.02; \quad d = 0.0093 \text{ м}$$

А час t змінюється від нуля до 0.015 с

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

Основними пунктами технологічної підготовки виробництва є:

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						36
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

- 1) Обробка конструкції та технологічність;
- 2) Типізація та нормалізація технологічних процесів та технологічної оснастки;
- 3) Встановлення технологічних норм часу та виготовлення виробу;
- 4) Проектування спеціального та нормалізованого інструменту, конструкцій, необхідних для виготовлення деталей, збирання вузлів та виробів, а також для контролю якості їх виготовлення.

Головною та найвідповідальнішою частиною технологічної підготовки виробництва є проектування технологічних процесів та конструкції технологічної оснастки.

Основним змістом підготовки виробництва в частині збірного процесу є:

- 1) Визначення найбільш раціональних методів та послідовності збірки виробу та його вузлів;
- 2) Планування збірних операцій;
- 3) Вибір та конструювання необхідних для збору приладу інструментів, пристроїв та обладнання.

Проведенню технологічного процесу передують наступні підготовчі роботи:

- 1) Порівняння показників технологічності;
- 2) Розробка схеми збірного складу;
- 3) Розробка системи контролю.

Ціль даного дипломного проекту – проектування технологічного процесу контролю якості сприймаючого пристрою.

2.1 Оцінка рівня технологічності конструкції збірної одиниці

Технологічністю конструкції називається така властивість окремих деталей збірних одиниць та пристроїв в цілому, при якому для даних умов, даного масштабу випуску та даних технічних вимог до виробу забезпечує найбільш швидке та економне освоєння його виробництва, а також найбільш раціональне його виготовлення. Технологічність конструкції приладу та його деталей необхідно розглядати як функцію масштабу випуску, а приймати як комплексне рішення задачі, враховуючи вимоги технологічних процесів всіх стадій виробництва.

Конструкція буде технологічною, якщо вона має найменшу кількість витрат на виготовлення та найкоротший виробничий цикл; найбільшу уніфікацію та нормалізацію збірних одиниць та деталей; широку можливість використання найбільш простих та раціональних операцій, а також можливість автоматизації збирання при найменшій кількості матеріалів та обладнання. Необхідно, щоб для збірних одиниць забезпечувалася простота збирання всіх деталей та збірних одиниць без доробки та серйозної підгонки, забезпечуючи економічно прийнятні допуски в розмірних, кінематичних та електричних кільцях; можливість паралельного збирання, що скорочує виробничий цикл; можливість найбільшої диференціації збірки.

Для збірних одиниць задачами обробки і технологічності є: забезпечення технологічності принципової та конструкторської схем збірної одиниці; забезпечення технологічної компоновки збірної одиниці; забезпечення раціонального членування на складальні частини; забезпечення умов регулювання; використання компенсаторів при збиранні; забезпечення умов використання високовиробничих технологічних процесів збирання, контролю та випробувань; границі та скорочення номенклатури матеріалів, які використовуються в основних частинах виробу.

Методика обробки конструкції на технологічність та оцінка рівня технологічності виробів в приладобудуванні розроблена на основі ГОСТ

14.201-73. Всі показники технологічності класифікуються за наступними ознаками: об'єкту та областей використання; кількості ознак технологічності; областей аналізу; методу вираження; значимості; системи оцінки. Показники по об'єму та області використання діляться на виробничі та експлуатаційні.

До основних показників технологічності відносять:

- 1) Рівень технологічності конструкції за трудомісткістю - визначається коефіцієнтом $K_{у.т.} = T_{и} / T_{б.и.}$, де $T_{и}$ і $T_{б.и.}$ - досягнута трудомісткість і базовий показник трудомісткості виготовлення виробу;

Абсолютний механіко-економічний показник об'єму роботи виготовлення $T_{и}$ виражається сумою нормо-годин, які витрачаються на виготовлення виробу:

;

Де – об'єм роботи, який зазначений на виготовлення та дослідження 1-ї складальної частини виробу, нормо-години.

Виходячи з супроводжуючої документації на виріб, приймаємо $=200$ нормо-годин та $T_{б.и.} = 210$ нормо-годин.

Тоді:

;

- 2) Рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю:

;

Де – досягнута технологічна собівартість виробу, грн..

– технологічна собівартість базового виробу, грн..

До додаткових показників технологічності відносять:

1) Показник уніфікації конструкції виробу:

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n};$$

де N_y , n_y – число уніфікації складальних одиниць та деталей в конструкції;

N , n – число всіх складальних одиниць у виробі та всіх деталей в ньому.

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n} = \frac{5 + 4}{8 + 22} = 0,3;$$

2) Коефіцієнт стандартизації виробу:

;

Де $E_{\text{ст.}}$ – число стандартних збірних одиниць у виробі

– число стандартних виробів, які є складальними частинами виробу і не входять в $E_{\text{ст.}}$

$$k_{\text{ст.}} = \frac{0 + 0}{8 + 22} = 0;$$

3) Коефіцієнт збірності:

;

Де E – число специфічних складальних частин виробу, $E=8$;

D – число деталей, які є складальними частинами виробу, $D=22$;

;

Комплексні показники технологічності конструкції на відміну від приватних характеризують не окремі приватні ознаки технологічності, а

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						40
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

окрему групу ознак технологічності конструкції виробу. Технологічність конструкції виробу може характеризуватися одним комплексним показником або кількома, об'єднуючими групи приватних показників виражаючими різні види технологічності конструкції виробу.

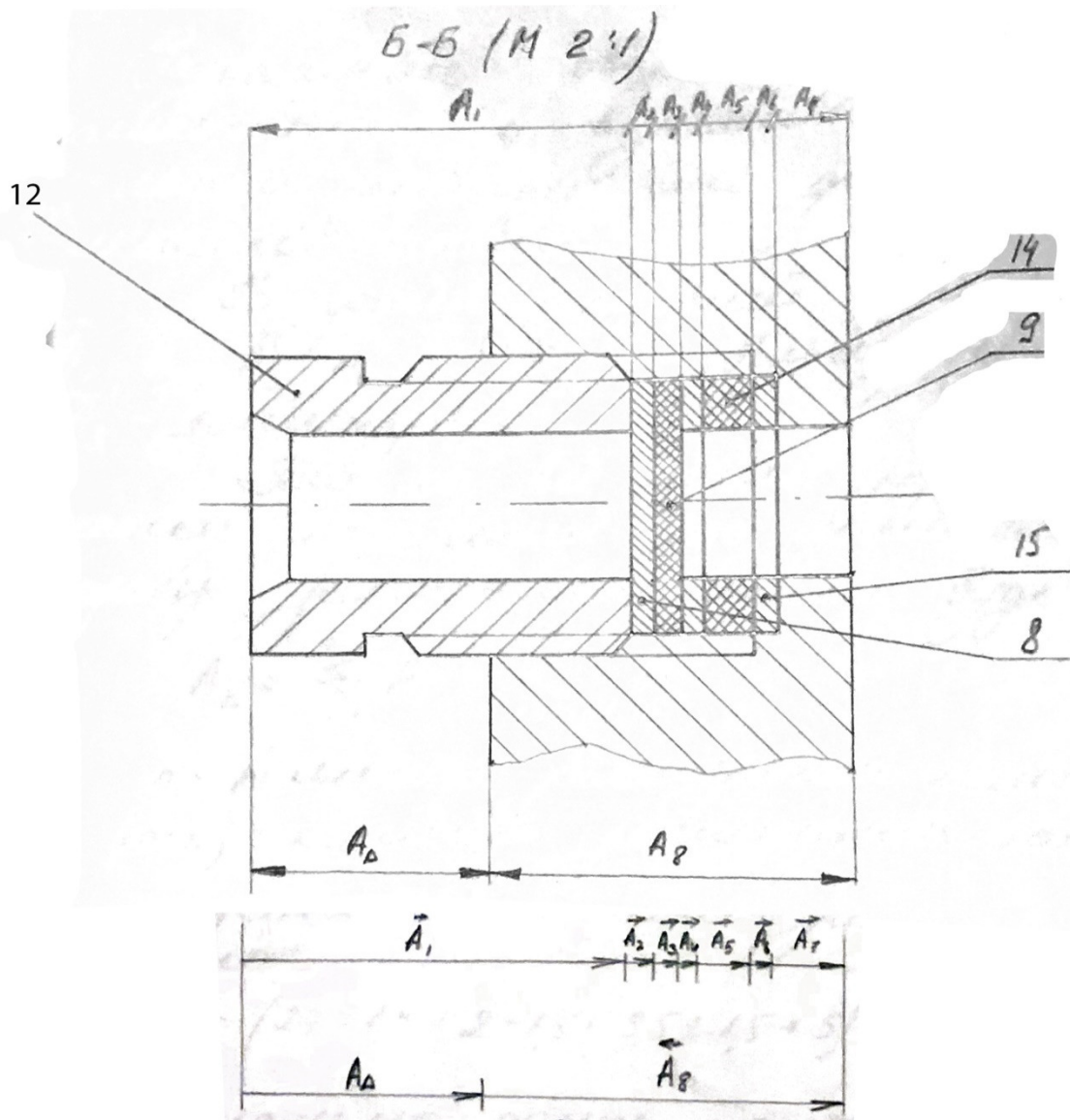
2.2 Розрахунок точності зборки

В процесі виробництва виробів бувають неточності в виготовленні деталей та збірних одиниць. Тому вихідні параметри збірних одиниць та приладів відрізняються від номінальних значень. Врахувати вплив на вихідні параметри збірних одиниць або пристрою – означає провести розрахунок геометричної точності та розрахунок приладу на фізичну взаємозамінність. Необхідна точність зборки може забезпечуватися різними методами в залежності від вимог точності та програми випуску. В приладобудуванні використовують в основному 5 методів забезпечення точності:

- 1) Метод повної взаємозамінності;
- 2) Метод часткової взаємозамінності;
- 3) Метод регулювання;
- 4) Метод підбору;
- 5) Метод пригонки.

На рис. 5.1 представлено один з отворів основи, призначеним для виводу проводу зі сприймаючого пристрою та ведучого до регулюючого пристрою. Гайка поз.12 разом з прокладкою поз.14 та шайбами поз.15 служать для фіксації проводу. Після проведення прийому заданих випробувань,

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41



кабель, який з'єднує сприймаючі та реєструючі пристрої демонтують, а отвір на основі закривають за допомогою прокладки поз.9 і заглушки поз.8. Оскільки гайка поз.12 є деталлю, яка найбільш виходить за межі основи поз.6, то необхідно визначити розмір виступаючої частини гайки після

Рис. 5.1 Схема збору

1. Схема розмірної цепі:

Рис. 5.2 Схема розмірної

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ

Лист

42

В таблиці 5.1 приведені номінальні значення ланок розмірної цепі та їх допустимі відхилення

№	Ланка	Номінальний розмір	Допустимі відхилення
1		27	+0,15
2		1,5	+0,02
3		2	-0,03
4		1,5	+0,015
5		3,5	+0,04
6		1,5	+0,015
7		5	-0,05
8		25	-0,2

Розрахуємо обернену задачу, яка заключається у визначенні подальшого розміру та допуску замикаючої ланки. В даній розмірній цепі ланки – збільшуючі, – зменшуюча

Так як всі ланки розмірної цепі паралельні, то номінальний розмір замикаючої ланки буде

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_i - \sum_{i=n+1}^m A_i$$

Де n - кількість збільшуючих ланок, n=7;

(m-n) – кількість зменшуючих ланок, m=8;

Підставивши значення

отримаємо: $A_{\Delta} = (27 + 1,5 + 2 + 1,5 + 3,5 + 1,5 + 5) - 25 = 17 \text{ мм}$

Визначимо допуск замикаючої ланки у випадку повної

взаємозамінності: $\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^m |G_i|$

Де δ_i – допустиме відхилення ланок.

Підставивши числові

значення: $\delta_{\Delta} = 0,15 + 0,02 + 0,03 + 0,015 + 0,04 + 0,015 + 0,05 + 0,2 = 0,52$

Координати середини поля допуску замикаючої ланки

рівні: $k_z = \sum_{i=1}^n k_i - \sum_{i=n+1}^m k_i$

Де k_i – координати середини полів допусків ланок;

Підставивши числове значення отримаємо:

$$k_z = 0,18$$

Верхнє та нижнє відхилення розміру замикаючих ланок визначаємо за формулами:

$$\begin{aligned}\delta_{\Delta 6} &= k_z + 0,5 \cdot \delta_{\Delta} \\ \delta_{\Delta 4} &= k_z - 0,5 \cdot \delta_{\Delta}\end{aligned}$$

Підставивши числове значення:

$$\begin{aligned}\delta_{\Delta 6} &= 0,44 \\ \delta_{\Delta 4} &= -0,08\end{aligned}$$

Таким чином, у випадку повної взаємозамінності замикаюча ланка A_{Δ} буде рівна:

$$A_{\Delta} = \left(17 \begin{smallmatrix} +0,44 \\ -0,08 \end{smallmatrix} \right) \text{ мм}$$

Визначимо допуск замикаючої ланки імовірним методом (методом неповної взаємозамінності).

$$\sigma_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m (k_{\delta i})^2 \cdot (\psi_i)^2 \cdot (\sigma_i)^2}$$

Де $t_{\Delta} = 3$ приймаємо при відсотки ризику в 0,27%;

$k_{\delta i} = 1$ - якщо крива розміщення розмірів відповідає паралельному закону розподілення (для виробів багатосерійного та масового виробництва).

$\psi_i = 1$ при ймовірності ризику 0,27%.

Тоді допуск замикаючої ланки можна визначити за формулою:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\sigma_i)^2}$$

Підставивши

числові

значення

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{0,0225 + 0,0004 + 0,0009 + 0,00025 + 0,0016 + 0,0025 + 0,004} = \sqrt{0,06835} = 0,26$$

отримаємо:

Визначимо координату середини поля розсіювання замикаючої ланки:

$$k_z = \sum_{i=1}^7 (k_i + 0,5 \cdot \alpha_i \cdot \sigma_i) - \sum_{i=7+1}^m (k_i + 0,5 \cdot \alpha_i \cdot \sigma_i)$$

Де α_i – коефіцієнт відносного розсіювання розміру.

Для даної розмірної ланки коефіцієнти відносного розсіювання розмірів рівні: $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 0,2$, $\alpha_3 = 0$, $\alpha_4 = 0,1$, $\alpha_5 = 0$, $\alpha_6 = 0,1$, $\alpha_7 = 0,2$, $\alpha_8 = 0,4$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\begin{aligned} k_z &= (0,075 + 0,5 \cdot 0 \cdot 0,15) + (0,01 + 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,02) + \\ &+ (0,015 + 0,5 \cdot 0 \cdot 0,03) + (0,0075 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,015) + \\ &+ (0,02 + 0,5 \cdot 0 \cdot 0,4) + (0,0075 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,015) + \\ &+ (-0,025 + 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,05) - (-0,1 + 0,5 \cdot 0,4 \cdot 0,2) = \\ &= 0,075 + 0,012 - 0,015 + 0,00825 + 0,02 + 0,0085 - 0,02 + 0,08 \\ &= 0,1485 \approx 0,15 \end{aligned}$$

Верхня та нижня границі поля розсіювання замикаючої ланки визначається за формулою:

$$\sigma_{\Delta B} = k_z + 0,5 \sigma_{\Delta};$$

$$\sigma_{\Delta H} = k_z - 0,5 \sigma_{\Delta};$$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\sigma_{\Delta L} = 0,15 + 0,5 \cdot 0,28 = 0,28 ;$$

$$\sigma_{\Delta H} = 0,15 - 0,5 \cdot 0,28 = 0,02 ;$$

Таким чином, при неповній (частковій) взаємозамінності замикаюча ланка A_{Δ} дорівнює:

$$A_{\Delta} = \left(17 \begin{smallmatrix} +0,28 \\ +0,02 \end{smallmatrix} \right) \text{ мм} ;$$

2.3 Схема збірного складу

На основі аналізу конструкторської документації розроблено схему збірного складу. Розрахунок таких схем дає можливість визначити конструктивні та збірні елементи приладу та їх взаємодію, а також в наглядному вигляді уявити проект технологічної збірки. Схеми збірного складу використовуються для аналізу та синтезу приладу та процесу збирання. Під аналізом розуміють стійкість приладу в процесі збирання. Під синтезом приладу та збірного процесу розуміють сприймання порядку конструювання приладу з його елементів та збірного процесу його операцій та їх частин.

В схемі збірного складу можуть бути показані джерела отримання елементів та строки готовності різних операцій збирання в цілому.

Схему можна використовувати в якості диспетчерського документу, за яким зручно слідкувати за процесом виробництва приладу та приймати міри, якщо готовність тих чи інших елементів не відповідає графіку. В той самий час схема збірного складу не дає уявлення про послідовність збирання та методів забезпечення з'єднань.

Схема збірного складу основи представлена в додатках.

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було розроблено тензометричний ваговий пристрій, який повністю відповідає вимогам, вказаним в технічному завданні. Розроблений ваговий пристрій призначений для різних грузів в умовах підвищених температур. Він складається з вагоприймаючого та реєструючого пристрою. В реєструючому пристрою відбувається компенсація перешкод від динамічного впливу, підрахунок сумарної ваги, контроль режиму роботи вагового пристрою.

В проектно-конструкторському розділі було проведено розрахунок пружних елементів тензорезисторних датчиків, розрахунок статичної і динамічної характеристик пружних елементів основних датчиків. Також було визначено метрологічні характеристики вагового пристрою.

В технологічному розділі була проведена оцінка точності вагового пристрою, складена схема збірного складу.

Таким чином, в даному дипломному проекті було вирішено питання, пов'язані з конструюванням дозатору сипучих матеріалів, який пацює в умовах підвищених температур, при одночасному зменшенні витрат на його виробництво та підвищення якості виробу.

					ДІП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						47
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Никитин А. К., Зайцев В.Н., Григорович В.Н. Методические указания «Приборы для измерения давления расхода»: Киев КПИ: 985 - с.67
2. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. Том 1. Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы: М: 1965. -364 с.
3. ГОСТ 15077-71. Датчики силоизмерительные тензорезисторные.
4. Пат №232307 Франция, МКИ, Весоизмерительное устройство.
5. Пат №4482022 Япония, Электронные весы с компенсацией погрешностей от внецентрового приложения загрузки. Заявл. 29.12.80

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
						48
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ДОДАТКИ

					ДП ПІ-5106.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

Додаток А

Схема збірного складу

